

УДК 681.3.06, 519.76

О.О. Слабоспицька

ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОГНОЗУ ЩІЛЬНОСТІ ЗАЛИШКОВИХ ДЕФЕКТІВ ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ ЗА ДОПОМОГОЮ БАЙЄСОВОЇ МЕРЕЖІ ТА ДЕРЕВА ЦІННОСТІ

Розглянуто актуальну проблему підвищення якості програмних систем (ПС) через скорочення їх дефектів. Процес розроблення ПС вдосконалено новим процесом уніфікованого прогнозу й оцінювання щільності залишкових дефектів (*FD*) ПС у життєвому циклі (ЖЦ) ПС згідно встановлених вимог до нього. Для нього розроблено модель та методи, що долають обмеження індивідуального прогнозу *FD* за байєсовою мережею (на початку ЖЦ) при її груповому оцінюванні за пропонованою моделлю типу дерева цінності (впродовж ЖЦ). Оцінки *FD* вдосконалено формалізованим обґрунтуванням для аналізу їх прийнятності та вибору серед них. Досягнуто постійне підвищення обґрунтованості оцінок. Створено умови підвищення ефективності прогнозу й оцінювання *FD* у ЖЦ ПС.

Вступ

Узагальнений підхід В.В. Ліпаєва до керування якістю ПС [1] надає кількості залишкових дефектів довільної ПС ролі невід'ємної внутрішньої метрики задоволеності користувача в еталонній моделі якості [2]. Враховуючи значні відмінності ПС різних типів за розміром та його залежність від обраної мови програмування, для подальшого дослідження пропонується щільність залишкових дефектів (*FD*), тобто відношення кількостей дефектів та умовних одиниць функційності [3].

Однак дійсна роль *FD* при реалізації підходу В.В. Ліпаєва істотно залежить від типу створюваної ПС. Так, для некритичної багатокомпонентної ПС оброблення даних у [4] *FD* є єдиним критерієм якості (редукованої до завершеності [2]), достатнім для ефективного розв'язання всіх задач керування протягом ЖЦ ПС. Натомість, для ПС критичного призначення у програмно-апаратних комплексах реально-го часу *FD* додатково відіграє [5] роль внутрішньої метрики безпечності [2]. Крім того, *FD* широко використовується як індикатор ризику програмного проекту [6], альтернативний щодо імовірнісного індикатора [7], запропонованого Software Engineering Institute (SEI).

Наведені приклади застосування *FD* для ефективного керування ЖЦ ПС демонструють потребу її прогнозу й оцінювання протягом ЖЦ, а також істотну різноманітність ролей у процесах ЖЦ ПС їх агентів,

які отримують оцінки *FD*, приймають на їх підставі керівні рішення щодо ЖЦ ПС (звані *FD*-обумовленими) та/або зазнають впливу останніх. Вона зумовлює потенційні розбіжності поглядів цих агентів на склад і структуру чинників *FD* та необхідність раціонального агрегування поглядів при її оцінюванні.

Численні діючі стандарти розроблення ПС – від універсальних (ISO 9001, ISO/IEC 15504) до спеціалізованих (типу IEC 61508 [8] для критичних ПС) – встановлюють загальні вимоги до якості ПС і процедур керування нею. Фіксуються також методи й прийоми розроблення ПС, орієнтовані на досягнення цих вимог шляхом максимального скорочення кількості дефектів на всіх стадіях ЖЦ ПС. Але жодних оцінок *FD*, досягнутих при дотриманні стандартів, не надається [5]. Це виключає вибір оптимальної серед альтернативних стратегій керування ЖЦ ПС та кількісне оцінювання якості (проміжних) продуктів на всіх стадіях ЖЦ.

Проте саме це оцінювання є необхідною передумовою підвищення зрілості організації-розробника ПС (починаючи з другого рівня) у моделях технологічної зрілості SW-CMM [9] і CMMI [10] (SEI). Більше того, міжнародні стандарти ISO/IEC 12207, ISO/IEC 15504, методологія безперервного керування ризиком CRM [7] (SEI) та стандарти IEEE щодо процесів контролю й гарантування якості, верифікації, валідації, спільного перегляду й

аудиту [3] висвітлюють у ЖЦ ПС шість типів оцінювання *FD*. Вони відрізняються: складом ролей залучених агентів ЖЦ (особа, що приймає рішення (ОПР), діє самостійно або разом із експертами, які подають погляди стейкхолдерів); характером вхідної/вихідної інформації (імовірнісної чи детермінованої); моментом, на який оцінюється *FD* (прогноз чи поточна оцінка). Згадані документи фіксують істотні вимоги до оцінювання *FD*:

а) уніфікованість щодо типу, рівня інформованості учасників, стадії ЖЦ та типу ПС;

б) доступність результатів для використання всіма агентами ЖЦ;

в) розгляд у контексті інфраструктури організації та поточного проєкту ПС;

г) врахування всіх релевантних поглядів агентів ЖЦ ПС;

д) висвітлення насамперед невизначеності й потенційних можливостей, а не тільки шкоди;

е) безперервність та інформаційна спадкоємність на всіх стадіях ЖЦ ПС;

ж) порівнюваність оцінок *FD* для всіх типів ПС на всіх стадіях ЖЦ ПС.

Починаючи із стадії системного тестування, для прогнозу *FD* достатньо ефективні мультиплікативні регресійні моделі (наприклад, розроблені фахівцями Rome Laboratory [11]), незважаючи на їх обмеження [4, 12]. Однак вони цілком незастосовні на початку ЖЦ ПС [12]. Тут потужним засобом індивідуального виведення розподілу ймовірностей для *FD* за апіорними розподілами чинників впливу і (гіпотетичними) свідченнями щодо дефектів є апарат Байєсових мереж (БМ) [4–6]. Але, як визнає провідний дослідник цього апарата Н. Фентон [5], підтримка решти чотирьох типів прогнозу/оцінювання *FD* потребує вдосконалення БМ адекватною моделлю багатокритеріального прийняття рішень. Аналіз арсеналу таких моделей засвідчує потенційну перспективність у цій ролі моделі класу дерево цінності [13].

Мета роботи – розроблення моделі та математичних методів нового процесу прогнозування/оцінювання *FD* протягом ЖЦ ПС, відповідного вимогам а)–ж). Засіб її досягнення – несуперечливе поєднання

підходу [4] до керування якістю ПС на підставі раннього прогнозу *FD* за БМ та підходу [14] до спадкоємного й обґрунтованого експертного оцінювання критеріїв ефективності у ЖЦ ПС за спеціальною моделлю – аргументованим деревом цінності (АД), що розвиває канонічне дерево цінності згідно особливостей ЖЦ.

Математичний апарат

До складу математичного апарата підтримки процесу прогнозування й оцінювання *FD* пропонується внести чотири базові конструкти:

а) трактування дефекту ПС;

б) взаємопов'язані типові моделі оцінювання *FD* класів БМ і АД;

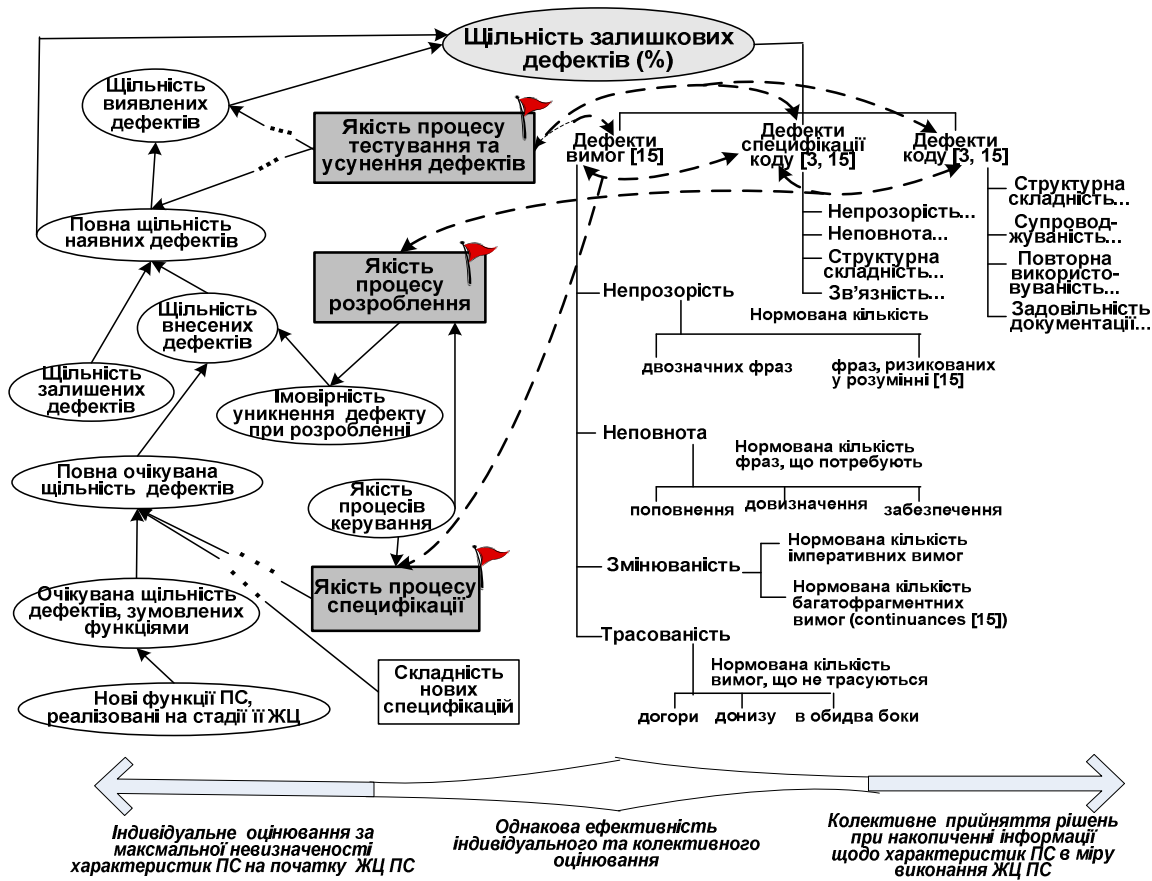
в) модель процесу спадкоємного прогнозування/оцінювання *FD* протягом ЖЦ ПС;

г) методи підтримки цього процесу згідно вимог а)–ж).

Прийняте уніфіковане трактування дефекту ПС відповідає ризико-орієнтованій парадигмі якості ПС, розвинутий в US NASA [15]: на довільній стадії ЖЦ ПС дефект ПС – це така властивість (проміжного) продукту стадії, що може призвести до зниження якості кінцевої ПС. Це трактування дозволяє виділити три типи дефектів згідно початковим стадіям ЖЦ, де вони виникають, а саме: зумовлені вимогами; зумовлені специфікацією коду; зумовлені кодом. Завдяки цьому, виникає можливість встановлення структурних та інформаційних взаємозв'язків між типовими моделями *FD*, розглянутими далі.

Такі моделі, що запроваджують прийняте трактування дефекту до практики спадкоємного оцінювання *FD* у формованому процесі, показано на рис. 1.

Зліва наведено схему БМ, запропоновану Н. Фентоном для прогнозування різних типів дефектів [6] на стадіях ЖЦ ПС, із незначними спрощеннями для покращення сприйняття. Еліпси та прямокутники позначають тут вузли БМ та, відповідно, підмережі, детальна структура яких є неістотною для мети роботи. Праворуч модель *FD* згідно ризико-орієнтованої парадигми NASA подано у вигляді АД. Пунктирні стрілки пов'язують вузли верхнього

Рис. 1. Взаємопов'язані типові ВМ і АД для прогнозування/оцінювання *FD*

рівня ВМ, позначені символом \uparrow , відповідні чинникам, прийнятим як визначальні для *FD* й оцінюваним в імовірнісній формі, з вузлами АД, що подають ці чинники, оцінювані в детермінованій формі. Такі зв'язки забезпечують можливість взаємного “калібрування” моделей типу ВМ і АД для *FD*, а також підвищення точності отриманих за ними оцінок щільності дефектів трьох виділених типів і *FD* у цілому.

Третій базовий конструкт – модель процесу прогнозування/оцінювання *FD* – являє собою трійку

$$MOD = \langle AG, EN, RM \rangle, \quad (1)$$

де *AG*, *EN* і *RM* – відповідно, склад ролей агентів процесу, інформаційне середовище його перебігу та уніфікована підмодель окремого раунду прогнозу/оцінювання.

Рис. 2 надає графічне подання запропонованої моделі (1). Відповідно до нього, зазначений процес визначено як послідовність уніфікованих раундів прогнозу/оцінювання, спадкоємно повторюваних

протягом усіх стадій ЖЦ ПС згідно підмоделі *RM* за участі агентів *AG* у спільному інформаційному середовищі *EN*. У міру виконання раундів відповідні банки даних (БД) в *EN* безперервно поповнюються їх уніфікованими результатами, а саме:

- поточними ВМ і АД (відмінними від типових);
- звітом про *FD* (що підсумовує оцінки *FD* за ВМ і АД разом з їх обґрунтуванням у підсумковому рішенні);
- звітом про виявлені дефекти.

Модель *RM* довільного раунду прогнозу/оцінювання *FD* (внутрішню структуру якої “висвітлено” на рис. 2) надає агентам *AG* можливість використання ретроспективи цих результатів для всіх попередніх раундів.

Як свідчить рис. 2, агентам *AG* пропонуються також фактична інформація щодо стану процесу розроблення в організації-розробнику та зведений звіт про дефекти у створюваній ПС. Він безперервно актуалізується на підставі поточних звітів

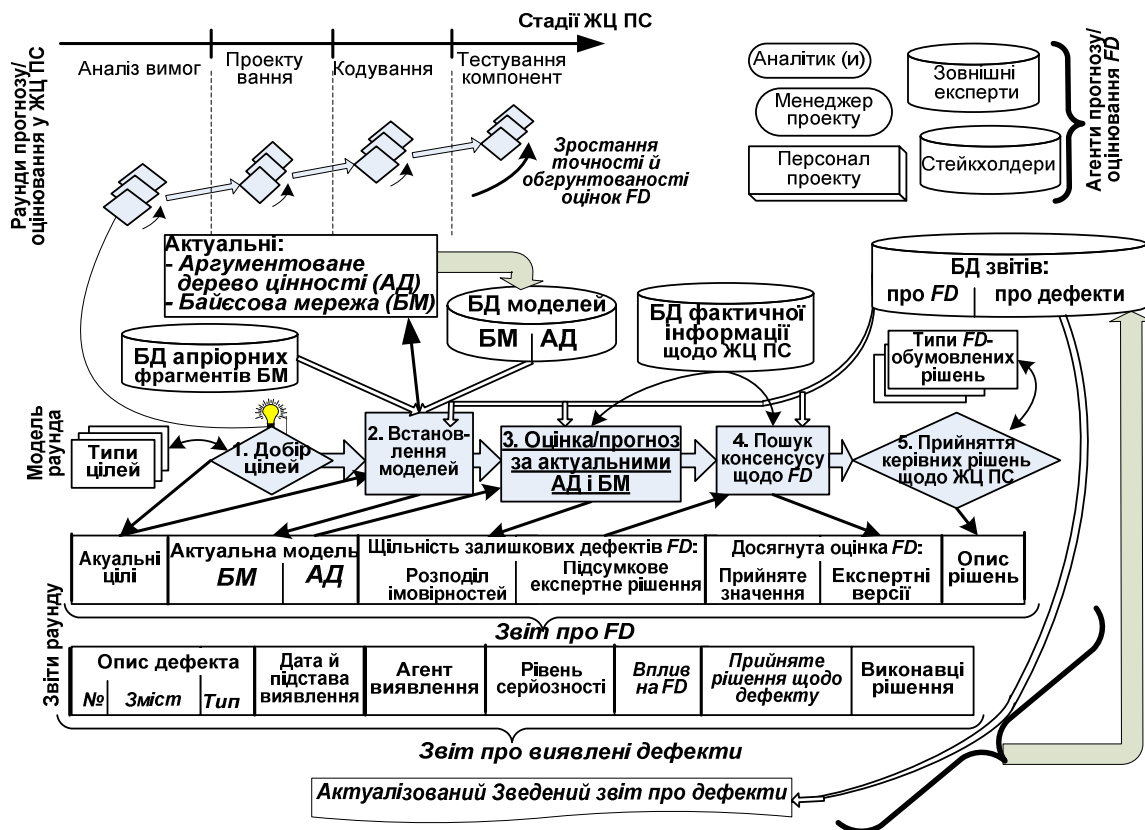


Рис. 2. Модель процесу спадкоємного прогнозування/оцінювання *FD* протягом ЖЦ ПС

про дефекти, формованих у раундах. Зведений звіт містить поточні оцінки щільності залишкових дефектів (у цілому та з деталізацією за трьома пропонуваними типами), а для довільного виявленого дефекту – стан і пріоритет усунення або ж дату закриття разом з ідентифікацією відповідальних агентів ЖЦ.

Пропонований склад агентів *AG* показано на рис. 2. До числа індивідуальних належить ОПР (аналітик, член груп якості, верифікації й валідації і/або підтримки замовника, менеджер або технічний лідер проекту ПС в організації-розробнику або ж керівник зовнішньої експертної групи); інтерв'юєр (член зовнішньої експертної групи); експерт (досвідчений фахівець в галузі розроблення ПС того ж типу, що й створювана, член групи проекту, представник стейкхолдера). Зовнішній експерт – це спеціалізована організаційна структура з офіційними повноваженнями щодо оцінювання стану процесів розроблення ПС в

організаціях-розробниках та надання настанов щодо їх вдосконалення. Стейкхолдер являє собою організаційну структуру/особу, регламентована діяльність якої зазнає впливу *FD*-обумовлених рішень (урядова агенція, фірма – розробник ПС, вид Збройних сил, державний службовець високого рівня тощо).

У свою чергу, середовище *EN* з моделі (1) поєднує:

- фіксований БД “готових до використання” фрагментів БМ, запропонованих у [5] для подання *FD* за широкого кола практично важливих умов її оцінювання;
- БД фактичної інформації щодо процесу розроблення в організації-розробнику, поповнюваний у міру його перебігу;
- БД типів цілей, що можуть досягатися, та відповідних їм *FD*-обумовлених рішень з керування ЖЦ ПС (щодо виявлених дефектів та поточного проекту ПС),

які можуть прийматися у довільному раунді прогнозу/оцінювання FD ;

- БД моделей оцінювання типів БМ і АД (первинними елементами якого є типові моделі, показані на рис. 1);

- БД звітів раунду – про FD та про виявлені дефекти, структуру яких показано на рис. 2.

Усі зазначені БД, крім першого, постійно поповнюються відповідними результатами раундів у міру перебігу формованого процесу прогнозування/оцінювання FD на всіх стадіях ЖЦІ ПС.

Нарешті, вищенаведені вимоги а)–ж) до формованого процесу прогнозування/оцінювання FD підтримуються за допомогою розглянутих далі методів формального оперування з моделями класів АД [14] і БМ на трьох внутрішніх кроках моделі раунду RM з (1), показаної на рис. 2. Для першого й п'ятого кроків RM математична підтримка не передбачається, зважаючи на неформальний характер дій агента з роллю ОПР та їх залежність від поточної ситуації виконання проекту ПС.

На другому кроці – "Встановлення моделей" – ОПР надаються три розглянуті в [14] можливості визначення адекватної моделі для прогнозу/оцінювання FD (БМ, АД або пари БМ і АД із спільними вузлами), а саме: побудова; добір у БД моделей; модифікація обраної моделі(й) згідно особливостей створюваної ПС. Для БМ і АД із спільними вузлами підтримується взаємне калібрування. Для цього центри найбільш імовірних інтервалів (для неперервних спільних вузлів) і найімовірніші значення (для дискретних) у БМ розглядаються в ролі їх узагальнених експертних оцінок за АД. Навпаки, медіани експертних оцінок спільних вузлів у АД застосовуються як вищезазначені центри інтервалів та найімовірніші значення у БМ. В обох випадках узагальнена експертна оцінка FD за АД (FD_V) зіставляється із середнім розподілу FD , отриманого за БМ (FD_N). За відсутності на поточний момент статистичних критеріїв значущості їх різниці, пропонується емпіричне правило, обумовлене міркуваннями симетрії: якщо

$|FD_V - FD_N| / \max(FD_V, FD_N) > 0.5$,
то обидві моделі потребують корекції.

Починаючи із стадії системного тестування, передбачається також додаткова верифікація БМ і АД на підставі фактичних даних тестування ПС та прогнозу FD за традиційними регресійними моделями на зразок запропонованих у [11].

Наступний, третій, крок – "Встановлення значення FD " – передбачає отримання розподілу ймовірностей для FD шляхом застосування до актуальної БМ потужного алгоритму Лоріцена–Шпігелгалтера для поширення ймовірностей [5, 6]. У свою чергу, для отримання узагальненої експертної оцінки FD за актуальним АД (VT_0) пропонується спеціальна експертиза [14], етапами проведення якої є добір експертів $j \in g$, їх опит з отриманням суджень за VT_0 $ID = \{O_j, j \in g\}$ та формування підсумкового експертного рішення щодо FD на підставі ID .

Підтримується вилучення експертних суджень у вигляді п'ятірок

$O_j = \langle X_{0j}, VT_j, X_j, D_j, F_j \rangle, D_j, F_j \supseteq \emptyset$, (2)
де X_{0j} – вектор оцінок експертом j листків VT_0 ;

VT_j, X_j, D_j – відповідно, версія АД, оцінки її листків та зауваження щодо неадекватності VT_0 згідно власному погляду експерта j на FD ;

F_j – зауваження експерта j щодо дефектів, виявлених ним у (проміжних) поточно оцінюваних продуктах, та дій щодо їх скорочення (у форматі звіту про дефекти, показаного на рис. 2).

За неадекватності фрагмента VT_0 погляду експерта j на FD або відсутності в нього інформації припустима його відмова від оцінювання відповідного листка у складі X_{0j} . Але тоді повинні бути надані VT_j і X_j . Одночасна неповнота X_{0j} та X_j розглядається при формуванні підсумкового рішення як свідчення недоцільності подальшого залучення експерта до експертиз FD через його некомпетентність і/або упередженість [14].

Підсумкове рішення щодо FD теж формується у вигляді п'ятірки [14, 16]

$$SD(VT_0) = \langle g, ID, tc, C, r^s \rangle;$$

$$tc = \begin{cases} \langle FD_v, sb(FD_v) \rangle - \text{за прийнятності } FD_v, \\ rez - \text{у протилежному випадку} \end{cases} \quad (3)$$

де FD_v – версія узагальненої оцінки FD за АД із показником обґрунтованості $sb(FD_v)$ (розглянутим далі), найвищим на множині всіх таких версій FD , не домінованих за обґрунтованістю sb ;

rez – причина невизначеності FD_v (з вичерпного переліку, наданого в [16]);

C – типи й екземпляри документів з БД фактичної інформації процесу розроблення та БД звітів (про FD і про дефекти), надані експертам у ролі контексту оцінювання листків VT_0 ;

r^s – реєстраційні реквізити $SD(VT_0)$ (ідентифікатор, автор, дата формування).

При задовільності для ОПР досягнутої точності розподілу ймовірностей за БМ [5, 6] і/або рівня обґрунтованості FD_v у підсумковому рішенні (3) наявна оцінка FD (або ж напівсума FD_v й середнього за отриманим для FD розподілом) стають підставами прийняття керівних рішень щодо процесу розроблення ПС.

У протилежному випадку пропонується додатковий четвертий крок – “Пошук консенсусу щодо значення FD ”. Він реалізується у формі комунікативного Дельфі-процесу згідно оригінальної методології М. Туорофа [17]. Усі експертні оцінки FD поточного туру та наявні звіти про FD для ПС того самого класу, що й створювана, використовуються тут для уникнення так званих пасток (pitfalls [17]) канонічного Дельфі шляхом виявлення елементів поглядів експертів, що обумовлюють значну неузгодженість оцінок.

Діюча нормативна регламентація процесів та стадій ЖЦ ПС (ISO/IEC 12207 тощо) дозволяє зробити висновок, що на початку ЖЦ ПС поточне ефективне керування проектом потребує насамперед індивідуального оцінювання FD на підставі БМ. Колективне оцінювання з використанням АД необхідне хіба що при появі неочікуваної проблеми, яка зачіпає інтереси різних учасників проекту та/або стейкхолдерів, а також при завершенні стадії. Однак у міру наближення ЖЦ ПС до заве-

ршення дедалі важливішим для забезпечення якості ПС стає не тільки вчасне вирішення проблем, але й, насамперед, адекватне проведення різноманітних колективних перевірок та оглядів [3]. Це вимагає вищезазначеного колективного оцінювання, тоді як запитаність індивідуального оцінювання за БМ децю спадає (див. рис. 1). Розроблена технологія виконання раунду прогнозу/оцінювання FD згідно його моделі підтримує за цих умов інформаційну спадкоємність та зіставність оцінок FD (у раундах відповідних типів) та прийнятих на їх підставі FD -обумовлених рішень (протягом всіх стадій ЖЦ ПС).

Методи узгодженого оперування моделями цінності типу БМ та АД

Для БМ методи побудови та налаштування охоплюють композування апріорних фрагментів з відповідного БД (див. рис. 2) згідно напівформальних настанов [5], а також розроблену під керівництвом Н. Фентона автоматичну динамічну дискретизацію неперервних вузлів БМ. Вона забезпечує автоматичне визначення їх апріорних розподілів із оптимальним рівнем деталізації залежно від області значень відображуваного чинника [6]. Основним обмеженням цих методів є наразі неможливість раціонального агрегування БМ, відповідних різним поглядам агентів ЖЦ, яке необхідне при колективному оцінюванні FD .

Можливість подолання цього обмеження надає підґрунтя методів оперування АД [14, 16] у складі двох формалізмів. Перший розроблено для подання АД чинників впливу на FD згідно певного погляду V (відомчого, рольового тощо) у вигляді кортежу

$$VT(V) = \langle p_x, w_x, s_x, cr_x, CN_x, A_x, r^v \rangle, \quad x \in X(V) \subseteq F, \quad (4)$$

де p_x, w_x, s_x – відповідно, попередник чинника x у дереві чинників впливу на FD згідно погляду V , локальна вага x та шкала x (числова або вербальна [16]);

cr_x – індекс критичності листка $x \in X(V)$ для прийнятності оцінок FD ($cr_{gx} = 1$ за потреби оцінювання x усіма експертами; $cr_x = 0$ – інакше);

CN_x – множина класів й екземплярів документів з БД фактичної інформації процесу розроблення та БД звітів (про FD і про дефекти), які вважаються джерелами контексту оцінювання листка $x \in X(V)$ згідно погляду V ;

A_x – множина альтернативних аналітичних методів оцінювання листка x (побудова БМ, регресійний аналіз, використання аналогів тощо);

r^v – реєстраційні реквізити АД;

$X(V)$ – ті серед загальновизнаних чинників F впливу на FD , які є вершинами АД згідно V .

Другим формалізмом є кількісний показник обґрунтованості версії E узагальненої оцінки FD за АД

$$sb(E, VT) = \langle df, rs, ac \rangle; df = \langle dv, dc, es \rangle; rs = \langle ir, qe, is \rangle, \quad (5)$$

де dv, dc й es – доповнення до одиниці рівнів розбіжності [16] між структурами дерев $VT_i, VT_j, j \in g$ та між контекстами оцінювання їх листків, а також ступінь істотності розбіжностей;

ir та is – інтегральні показники ризику прийняття версії E та її обґрунтованості [16];

qe – три трійки у складі максимуму, мінімуму й середнього серед кількості експертів, що надали оцінки листків VT , коефіцієнтів варіації й конкордації;

ac – показник прийнятності АД VT , використаного при формуванні версії E .

Для безпосередньої побудови АД пропонується два інтерактивні методи: індивідуальне формування $VT(V)$ (4) агентом-виразником погляду V та узгодження пропозицій представників агрегованих поглядів. Перший метод надає $VT(V)$ у двох формах:

- множини гілок, деталізуючих FD , вершинами яких є позитивні полюси конструктів спеціального вигляду – так званих пірамід, що виявляються в особистому психологічному просторі агента застосуванням до FD запропонованої А. Ландфілдом техніки *pyramiding* [18];

- дерева, де вершинами є елементи рядків імплікативних решіток Д. Хінкла

[18], породжених позитивними полюсами виявлених пірамід.

Показник прийнятності формованого АД $VT(V)$ *ac* з (5) визначається як нормована компетентність автора $VT(V)$.

Другий метод – це застосування комунікативного Дельфі-процесу [17] до автоматично формованої множини всіх версій АД для FD , вершини яких є вершинами у версіях АД, поточно наданих учасниками процесу. Роль експертних оцінок відіграють показники стійкості й нестійкості версій узагальненої оцінки FD до гіпотетичної зміни VT (запроваджені в [14] для довільної оцінюваної характеристики), обрані організатором процесу. Показник *ac* з (5) визначено як відношення максимальних відстаней між наданими версіями АД на початку та по завершенні процесу за метрикою А. Рапопорта, М. Шнейдермана d^r [14, 19]

$$d^r(R_i, R_j) = \begin{cases} \sum_{1 \leq k \leq l \leq |F|} |r_{uvi} - r_{uvj}|, \tau = h \\ \sum_{1 \leq k \leq l \leq |F|} (r_{uvi} - r_{uvj})^2, \tau = e, \\ \sum_{x \in VT_i} W_{ix} + \sum_{x \in VT_j} W_{jx} + \sum_{x \in VT_i \cap VT_j} |W_{ix} - W_{jx}|, \tau = w \end{cases} \quad (6)$$

де W_{ux} – глобальна вага листка x в АД V_{ux} , $u \in \{i, j\}$.

У свою чергу, методи добору в БД моделей охоплюють визначення БМ і АД, відповідних заданим типам цілей та/або керівних рішень (див. рис. 2), а також АД, що знаходиться на фіксованій відстані від заданого АД.

Нарешті, до методів модифікації обраної моделі(й) згідно особливостей створюваної ПС належить застосування вищеописаного методу безпосередньої побудови, а також автоматичне узагальнення версій АД $VT_j, j \in J$ (наданих експертами або обраних у БД моделей вищеописаними методами). Підтримується визначення двох форм узагальненого АД з технічними параметрами f, l , а саме f -виборів та (f, l) -усереднень. Їх зручно подати за допомогою спеціальних матриць R^c та R^m :

$$R^c = \operatorname{argmin}_{i \in J} f(d^c(R_i, R_j), j \in J);$$

$$R^m = \operatorname{argmin}_{R \in RL(l)} f(d^c(R, R_j), j \in J); \quad (7)$$

$$ac = f(d^c(R^*, R_j), j \in J), R^* \in \{R^c, R^m\},$$

де $R(VT) = \|r_{uv}\|_{u,v=1,\dots,|F|}$; $r_{uv} = 1$, якщо $u = p_v$ у VT ; $r_{uv} = -1$, якщо $v = p_u$; $r_{uv} = 0$ – у решті випадків ($R \in \{R^c, R^m, R_i, R_j\}$);

f – анонімна Паретівська функція, названа в [14] стратегією узагальнення структури;

$l \leq \max_{j \in J} l_j$ – зазначувана кількість рівнів формованого (f , l)-усереднення;

$RL(l, F)$ – множина матриць розмірністю $l \times l$, потенційно прийнятних у ролі R^m .

Отримання цільової складової tc (3) у підсумковому рішенні щодо FD за VT_0 включає:

а) аналіз кореляційної структури оцінок $\{X_{0j}, j \in g\}$ з (5) на підставі d^c (6) та рівнів стійкості й нестійкості [14, 16] для перевірки їх репрезентативності та узгодженості;

б) для задовільних оцінок – отримання всіх невідомованих за обґрунтованістю $sb(VFD_v)$ (5) версій $VFD_v(ID, VT_0)$, утворених узагальненими оцінками, статистично оптимальними за прийнятих статистичних гіпотез щодо ID з числа трьох апіорних (відсутність пресингового контексту; безсторонність експертів; їх об'єктивність) [16];

в) вибір версії $FD_v(ID, VT_0)$ з найвищою обґрунтованістю $sb(FD_v)$ методами лінійної згортки та ШНУР і ПАРК, створених під керівництвом академіка РАН О.І. Ларічева [14].

У випадках, коли оцінки $\{X_{0j}, j \in g\}$ за VT_0 визнано нерепрезентативними чи некоректними, $\{FD_v(ID, VT_0)\} = \emptyset$ або досягнуте значення обґрунтованості $sb(FD_v, VT_0)$ у (5) все таки залишається незадовільним, найдоцільнішим є формування узагальненого АД (7) за власними версіями експертів VT_j з (2) та повторення трьох вищенаведених кроків а)–в) для нього й оцінок експертів за їх власними версіями $VT_j \{X_j, j \in g\}$ з (5).

Висновки

1. Запропоновано поповнення дерева цінності контекстом, індексом критичності та альтернативними методами оцінювання листків уможливорює його узгоджене використання для прогнозу й оцінювання залишкової щільності дефектів разом із традиційно використовуваною байєсовою мережею. Це дозволяє вдосконалити отримані оцінки щільності формалізованим обґрунтуванням, яке надає менеджерам, аналітикам і стейкхолдерам програмних проектів можливостей аналізу прийнятності оцінок та вибору серед них протягом ЖЦ ПС.

2. Процес розроблення ПС вдосконалено шляхом інтеграції до нього нового процесу обґрунтованого й інформаційно спадкоємного прогнозування/оцінювання щільності дефектів на всіх стадіях ЖЦ ПС, відповідного сучасним потребам використання цих оцінок для підвищення якості процесів ЖЦ ПС та їх (проміжних продуктів). Розроблена модель та математичні методи підтримки процесу прогнозування/оцінювання щільності забезпечують відповідність типу прогнозу/оцінювання поточній стадії ЖЦ ПС, а також безперервне підвищення обґрунтованості оцінок щільності й обумовлених ними керівних рішень щодо ЖЦ та створення умов підвищення ефективності цього процесу.

3. Окреслений підхід потребує апробації й доопрацювання для основних керуваних об'єктів ЖЦ ПС та критеріїв їх ефективності. Його застосування потребують насамперед ті з них, при оцінюванні яких традиційно використовуються байєсові мережі: перспективність архітектур сімейств програмних продуктів, ризик невиконання проектів, якість ПС.

4. Перспективними напрямками розвитку підходу є: поповнення інформаційного середовища розглянутого процесу прогнозування/оцінювання щільності дефектів онтологічною моделлю предметної області процесу розроблення; дослідження формальних методів статистично оптимального використання ретроспективи БМ і АД та звітів про щільність; ство-

рення програмних засобів автоматизованої підтримки ефективного оперування АД, сумісних із сучасними засобами оперування БМ на зразок Hugin Lite 6.0.

1. *Лунаев В.В.* Методы обеспечения качества крупномасштабных программных средств. – М.: Синтег, 2003. – 520 с.
2. *ISO/IEC 9126-1: 2001.* Software Engineering – product quality. Part 1. Quality model
3. *Андон Ф.И., Коваль Г.И., Коротун Т.М., Лаврищева Е.М., Сулов В.Ю.* Основы инженерии качества программных систем. 2-е изд. – Киев: Академперіодика, 2007. – 672 с.
4. *Лаврищева Е.М., Коваль Г.И., Коротун Т.М.* Подход к управлению качеством программных систем обработки данных // Кибернетика и системный анализ. – 2006. – № 5. – С. 174–185.
5. *SERENE, SafEty and Risk Evaluation using bayesian NETs: SERENE.* The SERENE Method Manual. Version 1.0. – SERENE Partners, 1999. – 200 p. – Available at <http://www.dcs.qmul.ac.uk/~norman/papers/serene.pdf>.
6. *Fenton N., Radliński L., Neil M.* Improved Bayesian Networks for Software Project Risk Assessment Using Dynamic Discretisation // Queen Mary, University of London. – 2007. – www.agenarisk.com/resources/white_papers/Improved_BNs_for_Project_Risk_Assesment.pdf
7. *Higuera R., Haimes Y.* Software Risk Management // CMU/SEI-96-TR-012. – Pittsburgh, Pa.: Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University. – 1996. – 49 p.
8. *IEC 61508.* Functional safety of electrical/electronic/ programmable electronic safety-related systems (all parts). – IEC Press, 2005.
9. *Paulk M.C. et al.* Capability Maturity Model for Software. Version 1.1. Technical Report CMU/SEI-93-TR-024. – Pittsburgh, Pa.: Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University. – 1993. – 82 p.
10. *Лунаев В.В.* Модели зрелости программной инженерии – CMMI. Содержание и применение // Jet Info Online. – 2006. – № 6 – <http://www.jetinfo.ru/2006/6/2006.6.pdf>.
11. *Lakey P.B., Neufelder A.* System and software reliability assurance notebook. Rome Laboratory Report – Rome NY: Griffits Air Force Base. – 1997. – 186 p.
12. *Fenton N., Neil M.* A critique of software defect prediction models // IEEE Trans. on Software Engineering. – 1999. – V. 25 – N 5. – P. 675 – 689.
13. *Keeney R.* Value-Focused Thinking: A Path to Creative Decisionmaking. – London: Harvard University Press. – 1992.
14. *Лаврищева Е.М., Слабоспицкая О.А.* Подход к экспертному оцениванию в программной инженерии // Кибернетика и системный анализ. – 2009. – № 2. – С. 151 – 168.
15. *Hyatt L., Rosenberg L.* Software metrics program for risk assessment // Greenbelt: International Astronautical Federation. – 1996. – http://satc.gsfc.nasa.gov/support/IAC_OCT96/iaf.html.
16. *Слабоспицкая О.А.* Формальный аппарат экспертного решения проблемы многокритериального оценивания при учёте ряда точек зрения на проблему // Проблемы программирования. – 2002. – № 1–2. – С. 430–440.
17. *Turoff M., Linstone H.* The Delphi Method: Techniques and Applications. – London: Addison-Wesley Publ. Co. – 2002. – 578 p.
18. *Fransella F.* The Essential Practitioner's Handbook of Personal Construct Psychology. – Chichester: Wiley. – 2005.
19. *Bogart K.P.* Preference structure II. Distances between asymmetric relations. // SIAM J. of Application Mathematics. – 1975. – V. 29. – N 2. – P. 254 – 262.

Отримано 15.03.2009

Про автора:

Слабоспицька Ольга Олександрівна,
кандидат фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник.

Місце роботи автора:

Інститут програмних систем
НАН України,
03187, Київ-187,
Проспект Академіка Глушкова, 40.
Тел.: (044) 526 4579.
e-mail: ols07@mail.ru